各種電熱用抵抗線の壽命比較試験

Comparison of the Lives of Various Heating Wires.

正會員 堀 岡 正 家 山 本 見 一

By M. Horioka and K. Yamamoto, Members.

(遞信省電氣試験所第三部)

Electrotechnical Laboratory, Ministry of Communications

内 容 梗 概

電熱用抵抗線の合理的なる強制壽命試験法を研究せんとする仕事の一部として、内外代表的のものに就き壽命の比較を行つた試験の成績である。國産品

が外國の一流品に比して決して遜色なき事を報告し國産品の使用を推奨せんとするのが研究半にして未完了のまゝ發表する所以である。

Synopsis.

In this paper, the authors has described the results of the life testis of various heating wires now extensively used in Japan. This test is to be regarded as apart of the study to find the most reasonable method of forced life testing of heating wires if any, and the results mainly written in this paper are as follows;

(1) Specimens about 15 cm. in length & B. S. # 22 stretched horizontally between terminals are heated with various initial temperatures or specific watt consumptions, all exceeding the normal values, and thus the burn-out hours measured.

With these data, empirical formulae are established and lives at the normal use are estimated by extrapolation.

(2) Samples heated as now described are immersed into salt water 5 seconds for each half an hour and the shortened lives are compared.

The normal lives thus estimated are intended to be compared with short time tests as hitherto adopted such as oxidation test by thermo-balance etc.

Some method of forced life testing should be found which not only accelerates the rate of oxidation but also the grain growth within the wire. The photographs of this grain growth extending from the outer part of the wire towards the central with the heating time are shown.

The relation between the quality of the wire and the decrease of total weight up to the burn out time is suggested, together with that between the uniformity of the wire and the relative shortening of the life at the lower temperature, when the straight line relation between the logarithms of the life and the temperature or specific watt consumption is assumed.

The wires tested includes both the higher and the lower temperature class and over ten kinds of the home and the foreign manufacture, of which only four representative ones.....Taikaloy Ta, Nippon Dennetsu Sen No. 1, Nichrome IV and Chromel A.....are now fully described.

May 30, 1929.

〔I〕 緒 言

各方面に於ける電化の普及に伴ひて電熱用抵抗線の需要は益々増加するに至つた。従つて之が選擇に當り簡易なる識別方法を要求せらるゝ事切なるものがある。然るにこれは恰も電球に於ける強制壽命試験に類しこれに依つて正規使用状態に於ける壽命をトするに却々困難が多い。

唯空氣に接する發熱體では酸化に依り線が消耗せらるゝ事著しき爲に電球の場合に比しては合理的な強制壽命試験方法がより困難となるが如くも思惟せられ、或は又之が爲に反つてより容易なるが如くにも考へらる。

今發熱體の消耗（假に斷線、酸化、内部組織の變化に伴ふ抵抗増加等を總稱す）する原因を考ふるに

（１）表面よりの酸化によるもの 酸化の程度と共に一旦酸化せる表皮膜が更に内部への酸化進行に對する保護作用の効力程度即ち酸化膜の密着度を考慮せねばならぬ。

（２）高温による内部結晶粒の成長に基くもの（添附顯微鏡寫眞三例参照）。其の成長の速さ、大さ、機械的崩壊に對する抵抗力等の相違を考へねばならぬ。

其他蒸發、品質の不均一（混合の割合、太さ）、高温度に於ける抗張力等種々の因子が含まれてゐる。

從來最も多く行はれてゐる識別方法は熱天秤により比較的短時間の酸化度を測るものである。從來の此の方法によるものは上記（１）に記載せる様に酸化膜の保護作用をあまり考へてゐないかと思はるゝが、是非共冷熱を多數回繰り返して酸化膜の密着度による保護効果を見ねばならぬ。同時に此方法では從來第二項の影響が閑却せられてゐる憾が多い。

或は又試料を眞空中にて高温度に保ち適當の酸素を供給して強制的酸化試験を行ふも一つの比較試験法であらう。然し理想的方法としては前記二つの主なる現象を同じ割合で同時に促進せしめ得る様のものが望ましいのである。

何れにしても之等の比較的簡易なる諸試験便法は之を實際の使用狀態に於ける成績と對比し果して結果がよく一致するか否かを確めねば安心して採用する譯にはゆかない。此の實際の使用狀態に於ける試験は時と勞力とを要するの甚だ大なる事は周知の通りであるが何處に於てか之を實行するの必要なるべきことを思ひ昭和二年三月より電氣試験所に於て行ふ事とした。此の試験は尙ほ繼續中であつて終了時日は現在の處見當が付かない。

茲には今日迄の比較的高温試験の結果を報告し其の將來に引續く分及びこの結果と熱天秤試験強制酸化試験の合致如何等現に研究中のものは將來の機會に譲る。斯く研究目的の達成にはなほ前途遼遠なるものもあるも今日迄の結果では國產品が成績極めて良好なるの故を以つて廣く其の使用を推奨し度き目的の下に取敢へず一部分の結果を發表する所以である。

尙ほ本報告は從來本會々誌上に發表せられてゐる十合晋次氏の貴重なる諸研究結果と關聯する處密なるものあるを以て、之等と併せ、熟讀せらるれば更に幸甚である。⁽¹⁾

（１）照明第會雜誌

昭和三年四月號、電熱線の高温度に於ける抗張力試験。

〃 五月號、電熱線の熱膨脹係數

〃 七月號、電熱線の高温度に於ける酸化試験。

〃 九月號、電熱線の強制壽命試験。

〃 十一月號、電熱線の電氣抵抗。

昭和四年五月號、電熱線の強制壽命試験。

尙ほ本實驗の遂行には本田駒三氏の勞に俟つ事の大なるを附言し、此機會を以て深く感謝の意を表す。

〔II〕 實 驗

本實驗の要旨は前述の通りであるが初めから實際使用狀態即ち、 700°C 乃至 800°C 程度の溫度に於ける壽命試験を行ふ事は極端に時間を要し、爲に結果の容易に出ない事を豫想し、實際使用溫度より相當高い溫度にて試験を行ひ以下漸次低溫度に及び普通使用低溫度に近づけしめ實驗溫度の點をおひおひ増加して行つて實驗式を作り、之より實驗溫度範圍外に於ける低溫度壽命を推定する方法を採つた。今茲では今日迄の結果から得た實驗式を根據とするものを掲げるのであるが目下試験中の結果が出て、之れに依り更に補正を加ふれば結果も幾分變化せらるべき事は覺悟せねばならぬ。

（1） 實驗上の注意事項

同一番線の製作會社を異にする發熱線を採り電力比消費量（一燈當りの電力消費量ワットを假稱す）を同一としても溫度は必ずしも同一ではない。これは線により表面熱放散率が相異り且つ直徑も幾分差ある爲めである。故に壽命比較試験を行ふに當り溫度或は電力比消費量の何れを一定にして試験を開始すべきかは考慮を要する所であるが、これは使用目的により立場が違ふと云はねばならぬ。又學理上では通電中常に溫度又は電力比消費量を一定とする方が興味ある事と考へらるゝがこれは多數の試料を同時に試験するに設備上の困難が大なる上實際の使用狀態では端子電壓が常に一定である。

之等の理由により本實驗では比較せらるべき各種類の發熱線に就き試験當初に於ける電力比消費量を同一にし、之に對する給與端子電壓を終始一定に保つ事とした。又同一溫度に於ける異種發熱線の壽命比較を得る爲には試料に於ける種々の電力比消費量と溫度との關係を實驗的に求めこれと電力比消費量對壽命關係とより導き出すこととした。

本文に所謂壽命とは主として斷線に到る迄の時間である。使用の目的に依つては溫度或は電力比消費量が使用當初の何割かに下つた所謂“有効壽命”を採る必要ある事恰も電球に於ける有効壽命の如き場合もあらう。又 Hot spot の發生時間も考慮に採るを要する場合もあるべきである。試験開始當初表面酸化膜を除き去るや否やによつて著しく壽命の相違する事は十合晋次氏の論文にも出てゐるが、從來行ひ來つた本試験では可成實際の使用狀態と同一ならしむる爲め製造された品物を其儘用ひてゐる。

表面酸化膜の保護作用が壽命に著しく影響を有すべき事は緒言に於ても述べた處であつて、從つて又一定時間内の冷却度數に關係する事は勿論である。尙又酸化皮膜の膨脹係數が線自身の膨脹係數に近い程其剝落する事少く、密着度の大なると共に保護作用は大なるものと推考される。乃ち本實驗では凡ての試験を通じて一時間毎に電源より切り約五分間冷却の後再び通電して赤熱した。此の冷却の際に十分注意して居れば酸化皮膜の剝離する音を聞く事が出来る。一般に其音の大なるもの程壽命が短い様な傾向が認められる。

或る溫度に於て異なる線が同一の壽命を示したとしても、溫度が變ると著しく壽命が違つて來

る。温度の高低で壽命の長短の順位が逆になる様な事も却々多い。即、酸化度、grain growthの速度等の温度係数が可なり異なるからと考へる事が出来る。依つて實際の使用温度に於ける壽命を過超温度に於ける結果より推定するには却々危険が伴ふ。故に出来るだけ實驗温度を使用温度に近づけ且つ點の數を多くせねばならぬ。

斯様な譯で本文に於ける各線比較の結論が更に低温度に於ける實驗結果を入れて補正すれば順位に變化を來す様な事も有り得る譯である。現に著者の實驗でも斯様な経験が從來度々あつた。即ち高温度に於ける結論をより低温度なる使用状態のものに適用するには慎重な考慮を要するものである。

(2) 供試發熱線

實驗に供したる試料は凡て B.S. # 22, を選んだ。比較的多く使用せらるゝ太さのものと料せられたからである。其の名稱並に化學分析の結果は第一表の如し、(本試料は一、二を除きて他は凡て大正十五年十二月前後の市販品である)

第一表 電熱用抵抗線分析表

名 稱	Ni %	Cr %	Fe %	Cu %	Mn %	Si %	(15°C) Sp. gr.	Diameter in m.m.
高 温 度 級								(一米試料中十ヶ所の平均)
タイカロイ Ta.	72.442	22.187	2.790	0.060	1.817	0.704	8.30	0.633
日本電熱線第一號	77.785	18.392	2.213	Tr	1.337	0.273	8.39	0.657
ニコローム IV.	77.044	19.873	0.977	0.05C	1.765	0.291	8.41	0.639
クロメル A	77.104	19.636	1.256	0.040	1.837	0.127	8.42	0.650
ブライトレイ	77.121	19.268	2.511	0.360	0.566	0.174	8.49	0.650
低 温 度 級								
ニコロタンタン二號	25.014	4.928	64.565	0.180	0.245	5.068	7.75	0.646
日本電熱線第二號	73.822	14.000	10.620	Tr	1.507	0.051	8.32	0.656
ニコローム	61.933	12.088	23.715	0.330	1.817	0.117	8.27	0.636
キャリード	61.820	12.933	23.436	0.210	1.522	0.080	8.29	0.635
トフェット	61.150	14.835	22.041	0.070	0.965	0.939	8.27	0.638
グロレーイ	66.273	11.585	20.088	0.980	1.003	0.071	8.39	0.645

銅は線引の都合上、又は出来上り線へ色付けを行ふ等の目的で、殊更に線の表面に塗らるゝ事もあるので、本表中の銅量は必ずしも合金として入つてゐるとは見る事が出来ない。

(3) 實驗方法

試料は長さ約 15 寸とし、所期の電力比消費量を生ぜしむる様端子電壓を定む。電源としては 3 k.V.A. 200/10 V の、變壓器を用ひ、その一次側に挿入せる抵抗器を調整して實驗期間を通じ試料端子間電壓を所定の値に保つ。

端子及びその接觸抵抗を小ならしむるやう最も留意し、且接點移動等の起らざる様完全になし

たり。「アスベスト」板を張りたる鐵棒上に溝付抗火石を配列して各溝に端子を並べ試料間及び試料と下床の距離を各々五糎とし何れも水平に架橋し實驗室は四季を問はず密閉し、出来るだけ空氣の動搖による影響を防いだ。凡そこの種の實驗結果に誤なからしむるには多數の試料の平均を採らねばならぬ。曾て著者の一人は電球の強制壽命試驗に一 data. を得る爲に 100 ケの平均をとつたが今回は設備と勞力其他の關係で不十分ながら各 data は五試料の平均をとる事とした。

實驗の順序は下記による。但括弧内は當該電力比消費量の場合に於ける試料の大約溫度を示す。8 watts/cm. (1300°C), 7 watts/cm. (1200°C), 6 watts/cm (1100°C), 以下順次約 1 watt づゝ電力比消費量を減す。

實驗期間中溫度、抵抗等の變化を測定し、働程曲線を求む。抵抗は高溫度抵抗及低溫度(室溫)の二者を測定する事とし、前者は電壓降下法により、後者は P.O. Box. による。

實驗接續法及裝置は第一及二圖に於て見る所の如し。

(4) 鹽水浸漬試驗

實驗接續法は第三圖の如し。鹽水是普通市販の第二表に示す成分を有する食鹽を用ひ常溫に於て飽和溶液となしたり。

第 二 表 食 鹽 分 析 表

Na Cl. %	Si O ₂ %	Ca Cl ₂ %	Mg Cl ₂ %	Mg SO ₄ %
25.7068	0.0409	0.1124	0.4074	0.8885

本實驗は實驗開始當初の溫度を 800°C, 900°C, 1,000°C の三種類とし定電壓の下に試験を行つた。試料の長さ 25 糎、浸漬するゝ部分は、15 糎、とし 30 分毎に 5 秒間通電の儘浸漬して後電流を斷つ。浸漬の前後に於て溫度、電流、高溫抵抗、低溫抵抗、の記録をとり、之等のものゝ所謂働程曲線を作る。

〔III〕 實 驗 結 果

(1) 定規使用狀態に於ける壽命の推定

斷線に到る迄の壽命は實驗開始當初に於ける電力比消費量或は溫度の些少の相違により著しく影響せらるゝものと考へられるから之等を最初に定める場合には餘程精密にせねばならぬ。なほ壽命の平均をとる場合に probability $\frac{1}{2}$ % 以下の如きものは特別のものとして平均個數より除き又製品の均齊度を示す一寸度として平均壽命時間につき一々 provable error を出して見た。

今多數の實驗試料中高溫度級のもので現在本邦内で比較的廣く用ひられて居るものとして國產品二種、Nichrome IV. Chromel A. の壽命を全壽命間の平均電力比消費量に就き表示すれば第 3 表の如くなる。

表中電力の欄に括弧で示すものは當該電力比消費量に相當する試料の概略溫度である。又壽命時間の欄中士で示したものは probable error で之に附帶せる括弧内の數字は之が平均壽命に對する百分率を示してゐる。

第三表 壽命と平均電力比消費量（全壽命期間の）關係表

國 産 品 A		國 産 品 B		Nichrome IV		Chromel A	
w	L	w	L	w	L	w	L
7.793 (1250)	$16.4 \pm 2.19(13.4)$	—	—	7.868 (1300)	$32.6 \pm 2.09(6.4)$	9.128 (1300)	$9.9 \pm 0.47(4.8)$
7.782 (1240)	$25 \pm 2.6(10.5)$	7.912 (1250)	$37 \pm 3.4(9.2)$	7.957 (1300)	$31.6 \pm 0.57(1.8)$	8.167 (1250)	$18.1 \pm 0.23(1.3)$
6.544 (1150)	$155 \pm 12.7(8.2)$	6.215 (1170)	$201 \pm 4.6(2.3)$	6.570 (1200)	$107 \pm 2.5(2.3)$	6.515 (1150)	$133 \pm 7.3(5.5)$
5.417 (1120)	$474 \pm 12.0(2.5)$	5.721 (1090)	$340 \pm 26.2(7.7)$	5.691 (1140)	$309 \pm 10.9(3.5)$	5.607 (1080)	$466 \pm 10.5(2.3)$

〔註〕 w は平均電力比消費量を示す(ワット/樞), L は壽命時間を示す(時)

壽命と電力比消費量, 又は溫度とが如何なる關係で表し得るものであるかは明でないが理論上及實驗上却々難しいものと考へられる。假にこの種壽命試験に於ける他の數例の如く兩者の對數を縦及横軸にとるに第四圖 A の如く大體豫期のやうな直線關係がある事を見た。尤も更に壽命の長い實驗點が得られた場合には各種の外部的障害によつて此の直線關係より外れて壽命が多少短く出る事恰も電球の試験に於けるが如きものある事は豫想し得らるゝ處で現に既に斯様な傾向を示してゐる試料もある。

前記の data によつて實驗式を

$$\log L = \log A - a \log w. \dots\dots\dots(1)$$

$$L = A w^{-a}.$$

とし A , a 等の常數を最小自乗法により求むれば第四表の如し。

但し式中 L は壽命時間, w は電力比消費量 (一樞長當りのワット數) を示すものとす。尙ほ同表中の國産品 A の如く (1) 式中の L に相當な補正を施さねばならぬやうなものもある事を注意せねばならぬ。

第四表 實驗式 (1) に於ける常數表

名 稱	A	a	備 考
國 産 品 A.	1.63×10^6	4.7 2	本試料のみは次式による。 $\log(L+80) = \log A - a \log w$.
國 産 品 B.	5.69×10^7	6.8 8	
Nichrome IV.	3.7×10^7	6.7 5	
Chromel A.	5.5×10^8	8.1 3	

實際上の應用として役立つものは斯様に全壽命間に費したる平均電力比消費量では無く通電開始當初に於ける電力比消費量又は溫度との關係である。然るに之等は豫期した様な簡単な關係を示して呉れない。依て更に壽命と終始一定に保つて置いた給與電壓(ヴォルト/糧)との關係を検べる爲に兩者の對數を圖示するに、壽命と平均電力比消費量との間に於けるが如く直線關係の成立する事、第五圖 A の如きものがあつた。即ち、

$$\log L = \log B - b \log V \dots\dots\dots (2)$$

$$L = BV^{-b}$$

なる關係で表す事が出来る。式中 L は壽命時間、 V は一糧當りの電壓(ヴォルト)を示すものとす。(1) 式と同様の方法によりて B , b 等の常數を求むれば第 5 表の如し。

第 5 表 實驗式(2)に於ける常數表

名 稱	B .	b .
國 産 品 A.	0.0724	17.6
國 産 品 B.	0.1870	11.2
Nichrome IV.	0.7650	12.9
Chromel A.	0.00172	17.1

前記實驗式(1)及(2)を示す曲線と共に實驗點を圖示すれば第四圖 B 及第五圖 B の如し。

實際上吾人の要求する處のものは常規使用狀態に於ける壽命の推定であるから此の實驗式より extrapolate して定規使用狀態に於ける壽命時間を出して見ると次の様なものになる。即ち實驗式(2)の壽命と單位長當りの電壓との實驗式により更に低電壓の場合を計算し、之に第六表に於ける電壓及溫度との實驗上の關係値を代入して實際使用するが如き低溫度の時の壽命時間を推定して見ると第七表を得。

第 6 表 溫度と電壓(ヴォルト/糧)の關係

品 名 溫 度	國 産 品 A.	國 産 品 B.	Nichrome IV	Chromel A.
800° C	0.353 ヴォルト	0.335 ヴォルト	0.320 ヴォルト	0.347 ヴォルト
900° C	0.313 ヴォルト	0.285 ヴォルト	0.269 ヴォルト	0.291 ヴォルト

第 7 表 低溫度に於ける壽命時間推定表

品 名 溫 度	國 産 品 A.	國 産 品 B.	Nichrome IV.	Chromel A.
800° C	1043,000 時間	69,000 時間	293,000 時間	846,000 時間
900° C	126,000 時間	11,000 時間	31,000 時間	47,000 時間

此の表に依ると實際使用溫度の程度に於ては極端に長い壽命時間を示して居るが實際に於ては機械的或は其他の外部的原因によつて餘程壽命が短縮される事と考へられる。即ち式 (1), (2) の如き直線的關係はあまり低溫度には其儘適用出來ぬと考へられる。即ち或る何度か以下の低溫度に於ては (1) 式に於ける國產品 A の如く補正を行ふ要があらう。又一方この實驗では壽命は凡て斷線する迄の時間をとつたが相當低溫度では所謂有效壽命なるものを考慮すべきである。即ち前記第七表は電力經濟を無視したる斷線時間で實際に直に當て嵌め得らるゝ數字ではない。但各線の相對的壽命を比較する材料とする事が出来る。

(2) 働 程

實驗の働程及結果に著しく大なる誤差を來さしむる原因としては前記の如く所期の開始電力比消費量を得る様な長さ及び端子電壓を決定するに當り五本の試料を共に同一値に一致せしむる事が困難である點であつて、これが爲め結果に於て著しい誤差となるものなれば十二分に細心の注意を拂はねばならぬ。尙ほ溫度測定に當つても空氣の動搖狀態に依り著しく測定値を異にするため考慮を要するものである。

溫度、高溫抵抗、低溫抵抗の働程曲線中本文引例の四種に就き一例を示せば第六圖乃至第十一圖の如し。高溫度は光學溫度計によつて測定してゐるから、酸化皮膜上の夫れを見てゐるのであつて、線自體の溫度よりは多少低いであらうと思はれる。

之等溫度及抵抗の働程曲線を通覽する夫等が時間と共に變化する割合に關してはあまり著しい甲乙が見られない。

(3) 鹽水浸漬試験

内外各二種の代表的試料に就きその働程を示せば第十二圖乃至第十四圖の如し。曲線より低溫抵抗を通覽すれば一般に、時間と共に抵抗の減じてゐる事を見る、之は測定の時に於て鹽水浸漬後電流を斷ち常溫となりゐる爲め試料は食鹽の衣にて覆はれ然かも濕氣を充分に含み電導度を著しく増してゐる爲である。依つてこれは線の消耗を表すものではない。

實驗中 30 分毎に浸漬したのであるから壽命時間は浸漬度數の $\frac{1}{2}$ となるものなれども今若し同一試験を一時間毎に浸漬して行ひたるものとすれば壽命時間は前者の殆んど二倍となることゝ考へらる。何となれば通電中の酸化による壽命は浸漬に依る溶解に比して殆んど無視し得る程度のもので推考されるからである。即ち本實驗結果に於ては壽命時間を表さず浸漬度數を以つて表したる所以である。第十五圖及第十六圖は實驗開始當初の電力比消費量、及溫度の種々の値に對し斷線に到る迄の浸漬度數を示すものである。

今

N T 度に於ける斷線する迄の浸漬度數。

L_T T 度に於て浸漬せざる時の全壽命時間。

L 一同浸漬に依る壽命の短縮時間。 とすれば

$$\frac{L_T}{N} = L. \quad \text{なる關係を持つてゐる。}$$

實驗結果より一例を示せば、クロメル A. は 1,000°C にては推定 4200 時間の全壽命を有すると云ふ結果を得てゐる。處で第十五圖よりクロメル A は 1,000°C に於て浸漬度數 12 回と見らるゝ故、一回浸漬する事により短縮さるゝ時間は

$$\frac{4200}{12} = 350 \quad \text{である。}$$

即ち鹽水を 1000°C にて使用中の Chromel A 線に五秒間かける事により約 350 時間の壽命短縮のある事を知る。

斷線に到る迄の浸漬度數を比較するに大氣中での通電試験に於ける壽命の順位と必ずしも一致しない。例へば國產品 B は同 A に比して鹽水浸漬試験に強く、大氣中壽命は反つて A より少きが如し。これ等鹽水に對する強さは上記例證に於けるやうに一浸漬度數により短縮せらるゝ壽命時間を比較すれば明瞭に理解する事が出来る。

第 八 表 鹽水浸漬一回毎に短縮せらるゝ平均壽命時間表

品 名	國 産 品 A	國 産 品 B	Nichrome IV	Chromel A
1000°C の時の推定壽命 (時間)	8600	1500	2200	4200
同上斷線迄の浸漬度數	12	18	15.5	12
一回の浸漬により短縮せらるゝ壽命(時間)	720	80	140	350

結 言

本研究は未だ實驗半ばにして何等の決定的結果を斷言する事能はざるも從來の實驗結果を通覽すれば大體次の如き推定を得るものである。

1. 國產優良品は舶來一流品に比して優るとも決して劣らざる試験成績を示してゐる。
2. 斷線の原因としての酸化は酸化皮膜の密着度に關係し密着度は又膨脹係數の差に支配される、従つて冷熱の斷續回数にも大なる關係を持つてゐる。
3. 線の種類により内部結晶粒の成長速度、酸化等の溫度による係數が可なり相違するを以て高溫度の試験結果を低溫度の場合に當て嵌めるには餘程慎重な態度を要する。
4. 食鹽水に浸漬せらるゝ事による壽命の短縮度は著しく大なるものである。之を短時間の壽命比較試験方法の一種とする事が出来るも、單に大氣に接して酸化試験を行ひたる時の壽命とは必ずしも各線の優劣順位が一致せない。夫々の場合に線によつて何れも獨自の特徴を持つてゐる。

〔IV〕 附 録

(1) 電流と溫度との關係

電流と溫度との關係を各試料に就き實測して第八表の結果を得。之に依ると両者は凡て直線關係となつて居る。溫度の測定は凡ての實驗を通じて光學高溫度計による。

溫度は電流の自乗には比例して昇らない事は一般に認められてゐる處であるが、本例の如く恰

も電流と正比例する様な特異の關係が出てゐるのは注目すべき處であらう。第十七圖は第九表の内の内外各二種類に就て圖示し上記の關係を明示するものである。

第九表 電流と溫度との關係表

電 熱 用 抵 抗 線 B.S. # 22						
名 稱 \ 溫度 °C	800	900	1,000	1,100	1,200	1,300
高 溫 度 級						
國 産 品 A.	8.3	9.4	11.0	12.3	13.8	15.0
國 産 品 B.	8.9	10.4	11.8	13.2	14.8	16.0
ニ ク ロ ー ム IV	8.0	9.2	11.0	12.4	13.8	15.3
ク ロ メ ル A	8.6	10.3	11.9	13.4	15.0	16.8
ブ ラ イ ト レ イ	8.6	10.4	11.6	13.0	14.3	15.7
ソ ー ラ ー	8.8	10.4	11.8	13.3	14.8	15.5
低 溫 度 級						
ニ ク ロ タ ン タ ン 二 號	7.2	8.1	9.1	10.1	11.2	12.7
日 本 電 熱 線 第 二 號	8.8	10.0	11.5	13.1	14.5	15.7
ニ ク ロ ー ム	8.3	9.7	11.3	12.5	13.9	15.0
キ ャ リ ー ド	7.7	9.0	10.7	12.5	13.8	15.0
ト フ エ ッ ト	8.3	9.6	10.8	12.2	13.5	15.0
グ ロ ー レ イ	8.3	9.5	11.0	12.7	14.3	15.5

試料を直線状となし水平に保ち直接大氣に觸れしめ測定せるもの。

電流は「アムペア」を單位とす。

(2) 膨 脹 試 験

長さ一米の試料を垂直に吊り下げ 800°C より 1300°C まで 100°C 毎に各溫度に於ける線膨脹を測定した。實驗に當り試料の彎曲を防ぐため垂直に張りたれば試料自重による伸張が誤差として幾分免れざるものであつた。最初 800°C より始め一記録毎に電流を斷ちて冷却し再び次の溫度に於ける膨脹率を求むる事とした。第十八圖は此の結果を示した曲線である。

上の曲線より見れば 800°C より 1,200°C までの平均熱膨脹係數は、各種類を通じて 2×10^{-5} 前後にある事が知れる、1,300°C に於ける結果は融解溫度近くである爲急にその値を増し誤差大となり之を信ずる事は出来ないが。この 2×10^{-5} なる値は⁽²⁾十合晋次氏發表の 1.92×10^{-5} 乃至 2.135×10^{-5} とよく一致してゐる。

(3) 顯 微 鏡 寫 眞

B.S. # 22. の 1,300°C に於ける壽命比較試験に依り斷線したるもの及び試験前の新線を顯微鏡に依り結晶状態を検べた。試料はL形に曲げ其の外側面を削り中心點に於ける從斷面を研磨し

て Electrolytic etching を行つた。即ち電解液として比重 1.2 の稀硫酸を用ひ負極へ白金，正極へ試料を置き約 10 秒間 0.2 amp./cm^2 程度の通電を行ふ。第十九圖乃至第二十一圖は Nichrome IV. の一例を掲載し結晶状態を示したるものにして高温度に於ては使用時間と共に外部より内部へ向ひ次第に結晶粒の成長し行く状態をよく認める事が出来る。この結晶粒の成長速度，内部への滲透速度等は又一方より發熱線の壽命を推定し得べき一資料とも考へ得らるべし。

(4) 尙試料の全壽命に對する probable error 又は均齊度と低温度に於て比較的壽命の短縮せらるゝ割合に密接なる關係ある事も想像し得らるゝ處で，數ヶの興味ある關係曲線が得られてゐる。更に試料の重量を量り，壽命と其減量との間にも面白い關係のある事を知つた。これ等は何れも次の機會に發表し度いと思つてゐる。(完)

第一圖 壽命試驗結線圖

第三圖 鹽水浸漬試驗結線圖

Specific watt consumption, watt/cm.
第四圖 A. 壽命と平均電力比消費量關係圖

Specific watt consumption, watts/cm.
第四圖 B. 壽命と平均電力比消費量關係圖

第五圖 A. 壽命と給與電壓(ヴォルト/種)關係圖

第五圖 B. 壽命と給與電壓(ヴォルト/種)關係圖

第六圖 働程曲線……溫度(試験開始當初の電力比消費量約 8 $\frac{\text{ワット}}{\text{種}}$ の場合)

第七圖 働程曲線……溫度(試験開始當初の電力比消費量約 7 $\frac{\text{ワット}}{\text{種}}$ の場合)

第八圖 働程曲線……溫度(試験開始當初の電力比消費量約 6 $\frac{\text{ワット}}{\text{種}}$ の場合)

第九圖 餽程曲線……抵抗 (試験開始當初の電力比消費量 約 8 $\frac{ワット}{アムピヤ}$ の場合)

第十三圖 鹽水浸漬試験に於ける抵抗餽程曲線 (試験開始 當初の温度 900°C の場合)

第十圖 餽程曲線……抵抗 (試験開始當初の電力比消費量 約 7 $\frac{ワット}{アムピヤ}$ の場合)

第十四圖 鹽水浸漬試験に於ける抵抗餽程曲線 (試験開始 當初の温度 800°C の場合)

第十一圖 働程曲線……抵抗（試験開始當初の電力
比消費量約 6 $\frac{\text{ワット}}{\text{種}}$ の場合）

第十二圖 鹽水浸漬試験に於ける抵抗働程曲線（試験
開始當初の温度 1000°C の場合）

第十五圖 斷線迄の浸漬度數と試験開始温度との關係

第十六圖 斷線迄の浸漬度數と全壽命間の平均電力比消費量との關係

第十七圖 電流と温度との關係

第十八圖 温度と膨脹率との關係

第二圖 壽命試験装置寫眞（左半部を示す）

第十九圖
ニクロム IV. 600 倍
（下部の境界線は線の表面なり）

第二十圖
ニクロム IV. 600 倍
（新線の縦断面）

第二十一圖
ニクロム IV. 600 倍
（表面酸化膜）